

УДК 621.165 : 539.4

Н.И. МАМОНТОВ\*, член-корреспондент Инженерной академии наук Украины,  
О.М. КОБЦЕВ\*, главный конструктор проекта,  
Т.Н. ПУГАЧЕВА\*\*

\* Филиал Центральное конструкторское бюро «Энергопрогресс»

ООО «Котлотурбопром», г. Харьков, Украина

\*\* Украинская инженерно-педагогическая академия,

кафедра теплоэнергетических установок ТЭС и АЭС, г. Харьков, Украина

### РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ЭНЕРГОБЛОКА 200 МВт СТ. №4 СТАРОБЕШЕВСКОЙ ТЭС

Описана реконструкція теплової схеми енергоблоку 200 МВт ст. №4 Старобешевської ТЕС при установці нового котла ЦКС з діючою турбіною К-200-130 ЛМЗ. Реконструкція дозволяє перейти на двохбайпасну пускову схему, що забезпечує надійну роботу нового котла.

The reconstruction of thermal chart of power unit 200 MWt of №4 Starobeshevsk is described at options of new boiler of CFB with the operating turbine of K-200-130. A reconstruction allows to pass to the two—by-pass starting chart providing reliable work of new boiler.

На Старобешевской ТЭС блок мощностью 200 МВт в 2004 г. прошел техническое перевооружение с заменой существующего котла типа ТП-100 на новый с циркулирующим кипящим слоем фирмы Лурги. В связи с тем, что турбина К-200-130 ранее в 80-х годах прошла замену на эквивалентные цилиндры высокого и среднего давления. При установке нового котла ЦКС на турбине произведена модернизация ЦНД, а также реконструирована тепловая схема энергоблока с переходом с однобайпасной на двухбайпасную пусковую схему для обеспечения надежной работы энергоблока с новым котлом.

Реконструкция тепловой схемы заключалась в следующем:

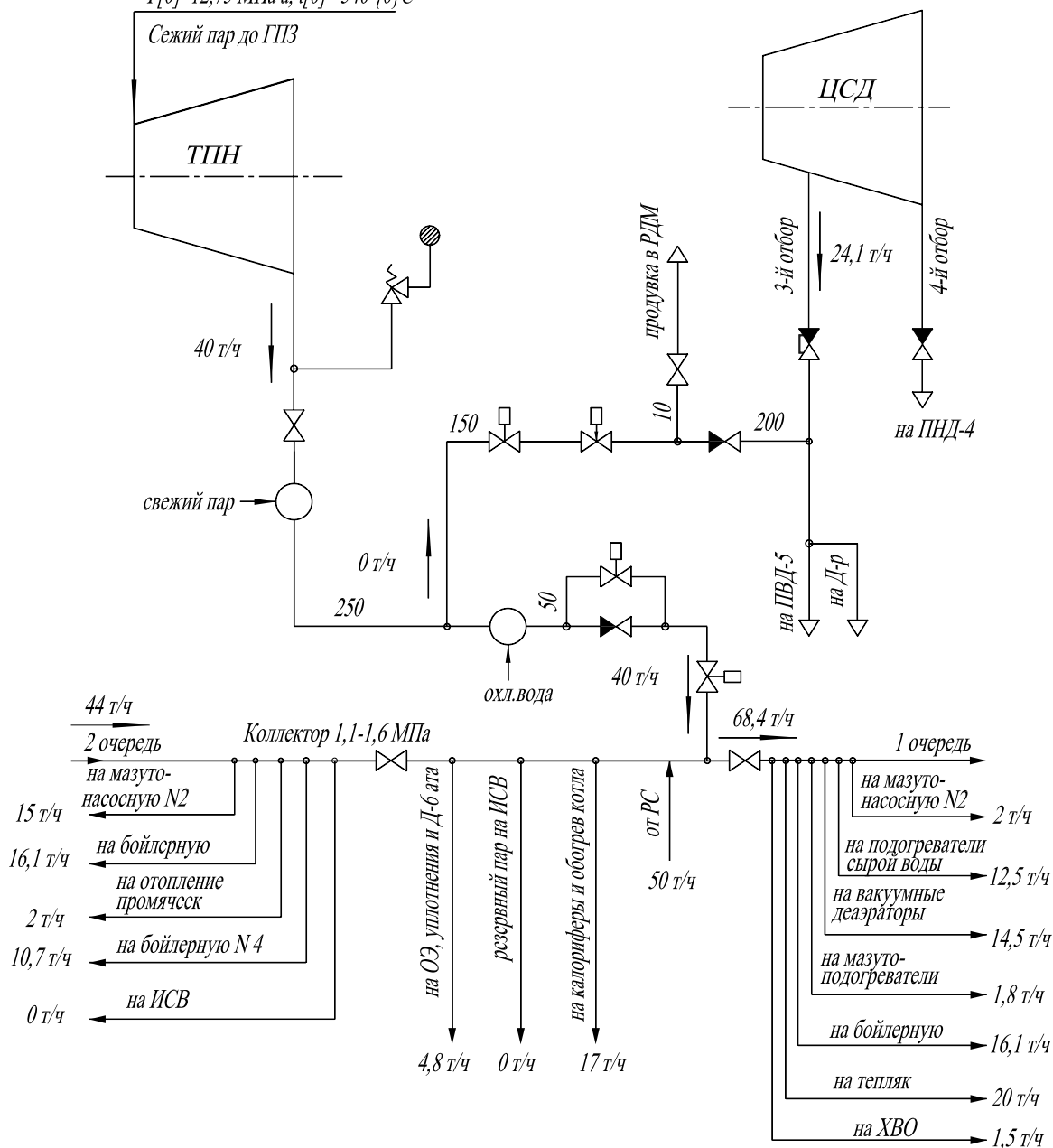
- в тепловую схему включен турбопитательный насос, обеспечивающий на 50–100 % нагрузке блока подачу питательной воды в котел;
- на линии «горячего» промперегрева установлены регулирующие клапаны;
- включена линия обеспаривания ЦВД в конденсатор;
- на линии «холодного» промперегрева установлены обратные клапаны с байпасами;
- включены в тепловую схему две быстродействующие редукционные установки для обеспаривания «холодного» и «горячего» промперегревов с подачей пара на специальное пароприемное устройство в конденсаторе;
- проведено усовершенствование системы дренажей турбины с установкой старого расширителя дренажей и упорядочение дренажей по коллекторам в зависимости от их параметров и режимов работы.

Реконструкция тепловой схемы с переходом на двухбайпасную тепловую схему потребовала проведение специальных испытаний и расчетов. Все изменения в тепловой схеме выполнены на базе расчетных проработок и технических характеристик нового котла ЦКС и существующей турбины К-200-130 с сохранением методики (пуск клапанами ЦСД) и графика пуска турбины, имеющих место на Старобешевской ТЭС.

Ниже приведено описание основных изменений схемы.

1. Схема подключения ТПН в существующую систему ТГ4 (рис. 1).

$P[0]=12,75 \text{ МПа}$ ,  $t[0]=540 \text{ }^{\circ}\text{C}$



**Рис. 1. Схема балансов выхлопа ТПН и резервного коллектора 1,1–1,6 МПа.**  
Зимний период, в работе 4 блока. 100 % нагрузка

При реконструкции энергоблока № 4 предусмотрена установка турбопитательного насоса (ТПН), который обеспечивает подачу питательной воды в котел на режимах работы 50–100 % номинальной производительности котла. Турбопривод питательного насоса представляет собой противодавленческую турбину с параметрами свежего пара как у основной турбины, т.е. 12,75 МПа, 540 °С. Расход пара на ТПН и, соответственно, после ТПН в зависимости от нагрузки основной турбины изменяется в пределах 25–40 т/ч. Параметры выхлопа турбопривода – 1,1–1,8 МПа соответствуют возможному диапазону давлений в резервном коллекторе

электростанции, куда и должен отводиться выхлопной пар. Фактическое потребление пара из резервного коллектора изменяется в широком диапазоне, зависит от многих факторов (например, времени года, количества работающих энергоблоков и др.) и по данным электростанции может составлять от 25 т/ч до 134 т/ч.

В зимний период для покрытия потребности в паре 1,1–1,6 МПа весь выхлопной пар ТПН должен направляться в резервный коллектор. Кроме этого необходимо отводить максимально возможное количество пара из линии ХПП через редукционную станцию (РС). Оставшийся дефицит пара в резервном коллекторе должен компенсироваться за счет других энергоблоков ТЭС.

В летний период расход пара после ТПН превышает потребность электростанции в паре 1,1–1,6 МПа, в связи с чем принято решение излишки пара после ТПН подавать в 3-й отбор главной турбины на ПВД-5.

На трубопроводе отвода пара в 3-й отбор устанавливаются последовательно отключающая задвижка с электроприводом, регулирующий клапан и обратный клапан. При работе турбины с ТПН отключающая задвижка должна быть открыта, а регулирующий клапан открывается при давлении на выхлопе ТПН выше 1,6–1,7 МПа. Т.к. давление в трубопроводе отбора не превышает 1,2 МПа, часть пара после ТПН будет поступать на ПВД-5, замещая соответствующее количество пара из главной турбины.

Для постоянного поддержания трубопровода в горячем состоянии за регулирующим клапаном выполняется линия продувки в конденсатор турбины (через расширитель дренажей машзала) диаметром 10–11 мм с запирающим вентилем. Сам регулирующий клапан имеет постоянную протечку пара даже в закрытом положении.

Расход пара на продувку составит порядка 120 кг/ч, что не повлияет на экономичность энергоблока.

*2. Проведены необходимые разработки для решения вопроса о необходимости установки обратных клапанов на линии холодного промперегрева (ХПП).*

При этом учитывались следующие положения:

1) работа ЦВД на пусковых режимах с малыми расходами свежего пара при давлении за ЦВД 1,0–1,2 МПа не допускается из-за высокой температуры выхлопной части цилиндра;

2) для отсечения ЦВД от промперегрева, где будет иметь место повышенное давление, на ХПП должна стоять арматура – либо обратные клапаны, либо задвижки.

Установка задвижек нежелательна по следующим соображениям:

1) сложность в управлении;

2) возможность самопроизвольного их закрытия и необходимость при этом, в соответствии с Правилами технической эксплуатации, установки дополнительных предохранительных клапанов перед ними;

3) длительный период закрытия задвижек при сбросах нагрузки; сложность создания противоточного охлаждающего потока пара в связи с отсутствием мест врезки для отвода пара в передней части ЦВД и др.

Учитывая вышеперечисленные факторы, а также принимая во внимание аналогичные решения на других энергоблоках с двухбайпасной схемой, эксплуатирующихся в других странах мира, принято решение об установке обратных клапанов на ХПП. Для возможности предварительного прогрева ЦВД паром из ХПП, выполняется линия байпаса обратных клапанов. Для равномерного прогрева цилиндра и выхлопных трубопроводов ЦВД байпас выполняется врезка в перемычку на линии

обеспаривания ЦВД симметрично левой и правой ветвей трубопровода «холодного» промперегрева.

При установке на трубопроводах ХПП обратных клапанов давление пара за ЦВД определяется давлением в конденсаторе и величиной гидравлического сопротивления линии обеспаривания ЦВД и изменяется в зависимости от расхода пара в ЦВД. Определяющим фактором минимального расхода в ЦВД является температура на выходе, которая не должна превышать 400 °С.

Расчетным путем определён минимально-допустимый перепад давлений на ЦВД (между камерой регулирующей ступени и выхлопом), который составляет 0,9 МПа, а также минимальный расход свежего пара, составляющий 120–130 т/ч, при достижении которого при пуске турбины допускается закрывать линию обеспаривания ЦВД.

### *3. Разработка схемы обеспаривания ЦВД в конденсатор (рис. 2).*

Основной особенностью двухбайпасной пусковой схемы является повышенное давление в трубопроводах холодного и горячего промперегрева на предпусковых и пусковых режимах турбины. Это связано с особенностями котлоагрегата ЦКС, требующего значительного расхода охлаждающего пара через промежуточный пароперегреватель.

По характеристике котла величина давления в промперегреве при пусках котлоагрегата из холодного состояния составляет 0,6–1,0 МПа, из горячего – до 1,2 МПа.

При таких давлениях работа ЦВД турбины на режиме холостого хода и малых нагрузок запрещена из-за больших вентиляционных потерь и разогрева цилиндра.

Для возможности пуска турбины, а также сброса нагрузки выполняется линия обеспаривания ЦВД (ЛОЦВД) в конденсатор, а на трубопроводах ХПП устанавливаются обратные клапаны. Разработка ЛОЦВД включает в себя выбор диаметра трубопровода, технологическую схему с арматурой, трассировку трубопроводов, выбор места врезки в ХПП и конденсатор, а также условия защит и блокировок.

Основными требованиями, которые должны выполняться при работе ЛОЦВД являются:

- 1) обеспечение давления на выходе ЦВД на пусковых режимах не выше 0,4 МПа;
- 2) охлаждение сбрасываемого пара в конденсатор до 60 °С;
- 3) обеспечение приемлемых скоростей пара в ЛОЦВД, во избежание больших гидравлических потерь, а также шума и вибрации при работе.

Основными элементами схемы ЛОЦВД являются:

- 1) трубопроводы;
- 2) отключающие задвижки – основная Ду500 мм и байпасная Ду150 мм;
- 3) пароохладитель;
- 4) пароприемное устройство в конденсаторе.

Задвижки должны открываться и закрываться одновременно. Время полного хода – не более 30 секунд.

Установка на линии двух параллельных задвижек обусловлена следующими причинами. В случае отказа одной из задвижек при сбросе нагрузки сохранится связь выхлопа ЦВД с конденсатором, причем, если не откроется байпасная задвижка Ду150 мм, то открытая основная задвижка Ду500 мм обеспечит нормальную работу

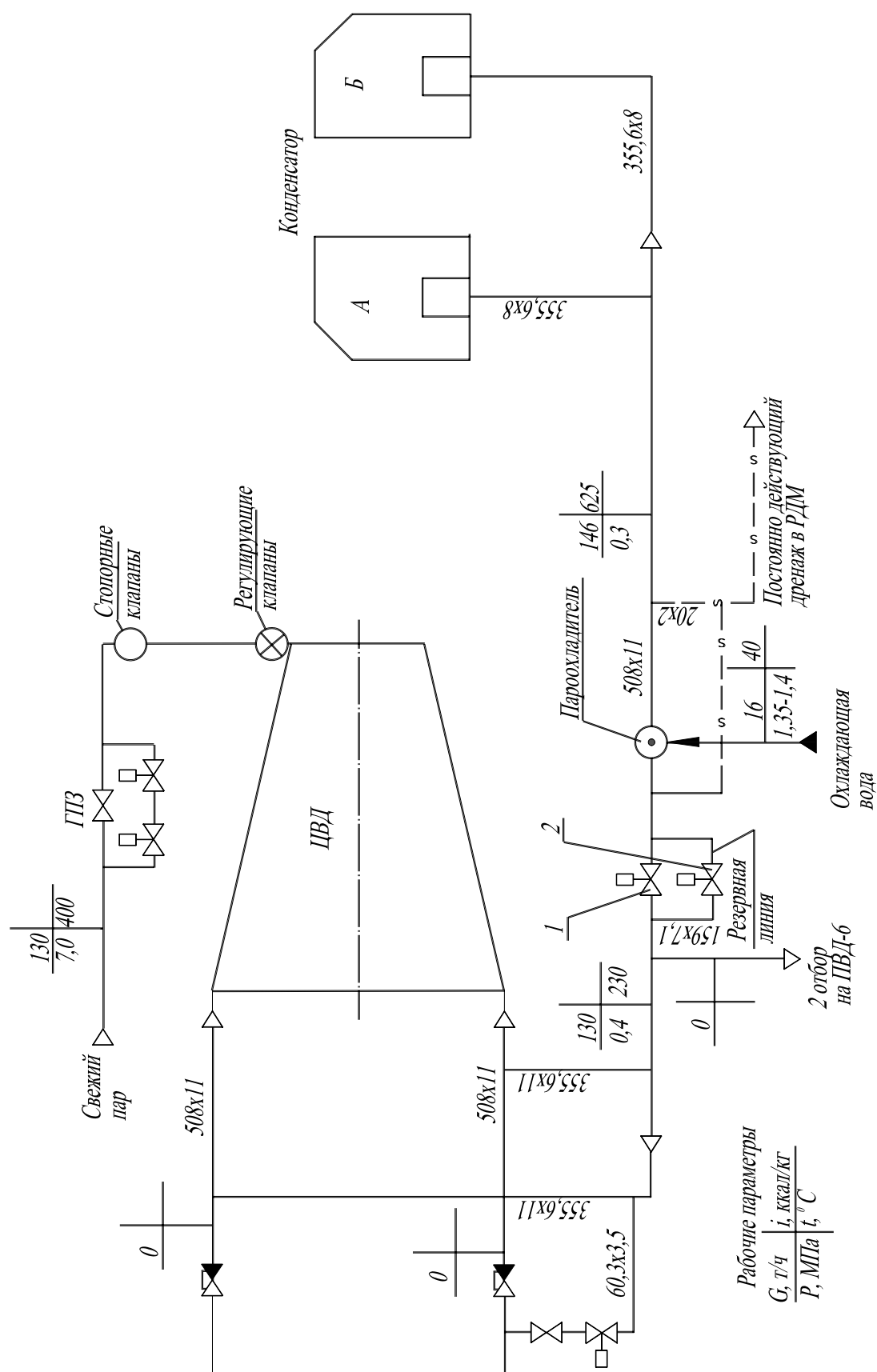


Рис. 2. Схема обеспаривания ЦВД и арматуры ХПП

ЛОЦВД с возможностью удержания холостого хода и последующего набора нагрузки. Если же не откроется основная задвижка Ду500 мм, то система защиты отключит турбину с закрытием стопорных и защитных клапанов, а через открытую байпасную задвижку Ду150 мм ЦВД будет соединен с конденсатором. При этом повторный пуск турбины возможен только после восстановления нормальной работы основной задвижки.

Для принятия необходимого количества пара в каждом конденсаторе устанавливаются пароприемные устройства (ППУ), в которых происходит рассеивание и дросселирование влажного пара до допустимых параметров (60 °С). ППУ должно быть рассчитано таким образом, чтобы при максимальных расходах пара (порядка 120 т/ч) давление перед ним не превышало 0,3 МПа. Тогда, с учетом естественных гидравлических потерь, давление за ЦВД не превысит 0,4 МПа. Для прогрева ЦВД по существующей технологии (т.е. с подачей пара из ХПП) выполняется байпас обратных клапанов ХПП трубопроводом диаметром  $\approx 53$  мм.

Байпасный трубопровод соединяет одну из линий ХПП за обратным клапаном и середину перемычки ХПП до обратных клапанов (т.е. линию обеспаривания ЦВД).

*4. Оптимизация схемы включения дренажа из калориферов котла в тепловую схему турбины.*

Калориферы котла ЦКС питаются паром давлением 0,6 МПа в количестве 4,5 т/ч летом и 17 т/ч зимой. Дренаж греющего пара с температурой 158 °С должен быть возвращен в цикл блока. Выполнены сравнительные расчеты трех вариантов включения дренажа из калориферов котла в тепловую схему турбины, а именно:

*вариант 1* – возврат дренажа в тепловую схему путем подачи в ПНД-3 через расширитель дренажа, соединенный по пару с паропроводом пятого отбора, а по дренажу – с дренажом ПНД-3 до регулятора уровня;

*вариант 2* – возврат дренажа через расширитель дренажей в конденсатор турбины;

*вариант 3* – частичное охлаждение дренажа основным конденсатом в водоводяном теплообменнике (ВВТО) и сброс охлажденного дренажа в конденсатор.

Для определения наиболее экономичной схемы были выполнены балансовые расчеты всех трех вариантов в зимний и летний период на номинальном режиме. Наименее экономичным вариантом является вариант 2, так как при этом теплота дренажа калориферов в тепловой схеме не используется. Кроме того, так как температура подводимого дренажа значительно превышает температуру выхлопного пара в конденсаторе, возможно ухудшение вакуума и запаривание конденсатора.

Расчеты показали, что наиболее экономичным является вариант 1 – по сравнению с базовым вариантом (вариант 2) он позволяет получить дополнительную мощность порядка 260,1 кВт и 63,4 кВт в зимний и летний период соответственно за счет вытеснения пара из регенеративных отборов турбины. В варианте 3 дополнительная мощность значительно ниже – 150 кВт в зимний период и 39,6 кВт в летний период. Учитывая, что установка и обвязка водоводяного теплообменника требует значительных затрат, оптимальным вариантом однозначно является вариант 1. При этом необходимо выполнить также резервную линию сброса дренажа калориферов в конденсатор (через расширитель дренажей) для возможности работы на пусковых режимах, а также при отключенном ПНД-3.

5. Проведение реконструкции пусковой схемы турбоагрегата (рис. 3).

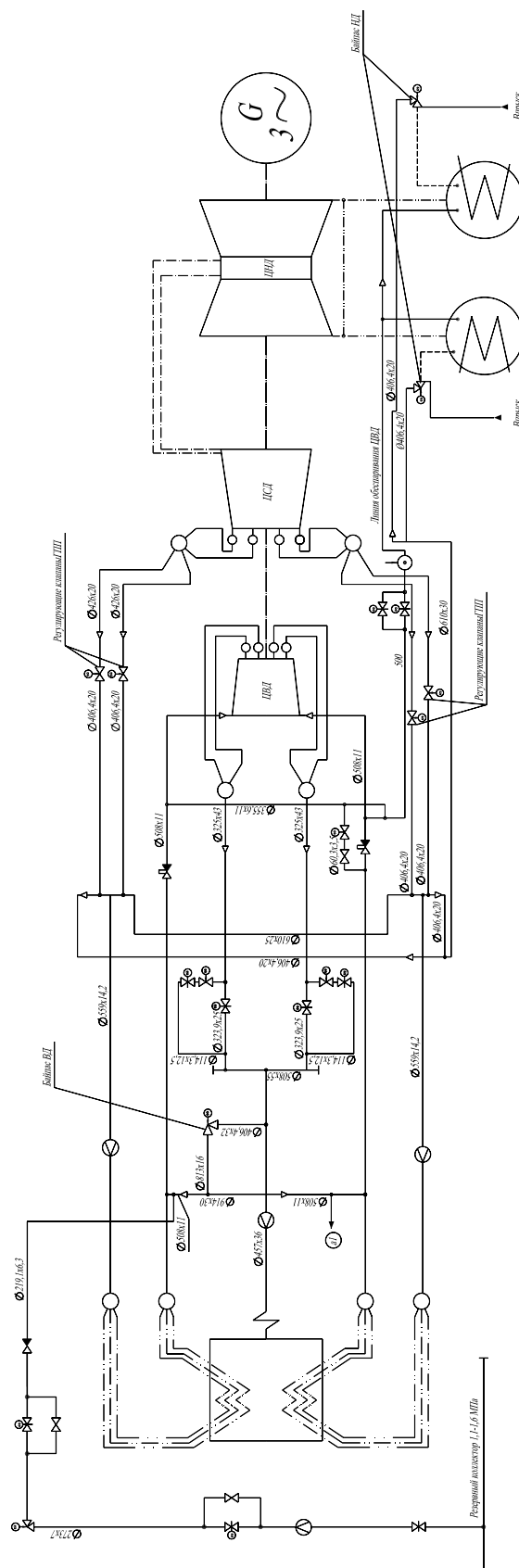


Рис. 3. Пусковая схема турбоагрегата

Это связано с тем, что у котла ЦКС необходимо весь растопочный расход пара направлять через промежуточный перегреватель во избежание его перегрева. Новыми элементами, связанными с применением двухбайпасной схемы, являются:

- 1) дополнительные обратные клапаны на трубопроводах ХПП, препятствующие повышению давления пара в ЦВД при пуске турбины;
- 2) байпас обратных клапанов ХПП для прогрева корпуса ЦВД при пусках из холодного состояния;
- 3) дополнительные регулирующие клапаны на линии горячего промперегрева перед автозатворами ЦСД, которые снижают давление пара перед ЦСД при пусках;
- 4) линия обеспаривания ЦВД (ЛОЦВД) с пароохладителем, соединяющая выхлоп ЦВД (до обратных клапанов ХПП) с конденсатором;
- 5) байпас ВД, подающий свежий пар из котла в линию ХПП, а также байпас НД, перепускающий пар из линии ГПП в конденсатор. Пропускная способность клапанов байпаса НД составляет 400 т/ч, что соответствует максимальной пароприемной способности конденсатора;
- 6) пароприемное устройство в конденсаторе конструкции EMERSON типа Dumptube вместо старой конструкции ЛМЗ;
- 7) два дополнительных пароприемных устройства в конденсаторе типа Dumptube на линии обеспаривания ЦВД.

Кроме этих изменений, непосредственно связанных с переводом энергоблока на двухбайпасную схему, при реконструкции выполняются следующие мероприятия:

- 1) в связи с ликвидацией существующего пароприемного устройства, которое выполняло также функции охлаждения переходного патрубка и рециркуляции основного конденсата, выполняются новые системы: охлаждения выхлопного патрубка в проточной части ЦНД; линия рециркуляции основного конденсата, которая направляется в конденсатосборники конденсаторов под уровень воды; при этом диаметр конденсатосборников увеличивается до диаметра 1600 мм;
- 2) усовершенствуется система дренажей турбины с установкой второго расширителя дренажей машзала (РДМ) и кардинальной реконструкцией существующего расширителя дренажей (РД);
- 3) для утилизации тепла конденсата калориферов котла в тепловой схеме устанавливается новый расширитель, подключенный по выпару и сливу конденсата с ПНД-3;
- 4) для возможности отвода из ХПП турбины в резервный коллектор максимально допустимого расхода пара (50 т/ч) устанавливается новая редуционная станция (РС);
- 5) устанавливаются новые ГПЗ с пусковыми байпасами, предназначенными для прогрева клапанов АЗВ, регулирующих клапанов и перепускных труб ЦВД, а также пуска турбины.

Испытания и пуски из различных состояний энергоблока 200 МВт после технического перевооружения на Старобешевской ТЭС показали надежную работу тепловой схемы после реконструкции.

#### Литература

1. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила. ГКД 34.20.507-2003. – Киев: ОРИФРЭ, 2003.

© Мамонтов Н.И., Кобцев О.М., Пугачева Т.Н., 2009